

설계파라미터의 역학적 분석을 통한 마이크로 열구동기의 최적설계 Parametric Analysis and Optimal Design of Micro Thermal Actuator

#이종수¹, 황경호², *김평모²

#J. Lee(jleej@yonsei.ac.kr)¹, K.H. Hwang², *P.M Kim²

¹연세대학교 기계공학부, ²연세대학교 대학원 기계공학과

Key words : Micro Thermal Actuator, Flexure, Structural Analysis, Parametric Study, Design Optimization

1. 서론

열 변형 구동기는 열-유압 구동기, 형상기억효과 및 바이메탈 효과 및 열-기계적 팽창 등과 같은 첨단공학적인 특성을 가지고 있다. 열-유압 구동기는 기체와 액체 사이의 상 변화를 응용한 디바이스이며, 전류를 통해 캐비티 내의 유체에 열을 가함으로써 유체의 팽창이 멤브레인의 변형을 일으킨다. 형상기억합금은 일정한도레벨에서 분자구조의 가역반응 열-기계적 변형을 일으킨다. 바이메탈 열 구동기는 두 가지 재료 사이의 열팽창계수의 차이를 활용하여 기계적 변형을 발생시킨다. 열 구동기는 낮은 전압에서 상대적으로 큰 힘과 변형량을 발생시킬 수 있는 특징이 있으며, 그 변형은 넓은 영역에서 전압이 증가할수록 선형적으로 증가한다.

본 연구에서 적용하는 마이크로 열 구동기는 폴리실리콘 재료로 구성되어 있으며, 폭이 얇은 아암과 폭이 두꺼운 아암으로 이루어져 있으며 두 개의 아암의 두께차이에 의한 열팽창의 차이를 활용하여 구동기의 역할을 수행한다. 마이크로 열 구동기에 전류가 흐르게 되면 열팽창의 차이로 인해 일정한 방향으로의 변형이 일어나게 되는 움직임을 응용한 장치이다. 주재료인 폴리실리콘은 고온상태에 있을 경우, 선형 탄성학적 성질을 잃어버리기 때문에 장시간 사용함에 있어 제한을 갖는다. 열 변형 구동기가 작동하는 동안 마주치게 되는 고온 소성 변형을 일으킬 수 있다. 그러나 충분히 낮은 온도에서 작동된다면 열 변형 구동기는 신뢰할 만한 작동을 보여준다. 이러한 구동기는 전류가 열원으로 제공되며 줄 가열을 통해 아암의 기하학적 형상이 온도상승에 어떠한 영향을 주는가에 대한 이해가 필요하다. 효율적인 마이크로 열 구동기의 이해 및 설계를 위해서는 아암의 폭의 크기 및 기타 기하학적 치수를 최적화하는 연구가 필요하다[1]. 본 연구에서는 열 구동기의 변형량을 최대화하기 위해 디바이스를 구성하는 각 부분의 단면치수에 대한 설계 파라미터 분석 및 해석결과를 연구하며, 이를 바탕으로 변형량에 영향을 크게 미치는 구조역학적 성능을 고려한 최적화 설계를 수행하고자 한다.

2. 해석 및 시뮬레이션

본 연구에서 고려하는 열구동기의 hot arm은 cold arm보다 얇으며 그 결과 hot arm의 전기저항이 cold arm보다 높은 값을 갖게 된다. 아암에 전류가 흐르게 되면 저항으로 인해 발생한 열 또한 hot arm이 cold arm보다 높은 결과를 나타내게 되며 동일재료(즉, 폴리실리콘)에 대해 같은 열팽창계수에 대해 온도차이는 hot arm이 cold arm보다 많이 늘어나게 됨을 의미한다. 결과적으로 회전운동을 일으키게 된다. 구동기 단면의 크기가 구동기 길이보다 매우 작아서 Fig.1과 같이 전기-열 해석을 간략화할 수 있으며, hot arm, cold arm 및 flexure 부분에 전류가 흐르게 되는 전체적인 회로를 구성할 수 있다[2]. 여기에 세 가지의 열 흐름에 대한 해석이 필요하게 되는데, 전도, 대류 및 복사이다. 전도는 고온 부에서 저온 부로의 에너지 이동을 의미하며, 대류는 온도차이가 존재할 때 디바이스 표면과 공기 사이의 열전달을 의미한다. 또한, 복사는 디바이스의 온도로 인해 방출되는 에너지이다. 이러한 열해석의 사항들이 전기-열 단성

문제를 분석하는 도구로서 필요하게 된다.

연성된 장 문제는 ANSYS에서 직접법과 순차법을 사용하여 풀 수 있다. 직접법은 연성된 장 요소를 이용하여 한번의 과정으로 해석을 할 수 있다. 순차법은 이전 단계의 결과가 다음 단계의 입력 값으로 이용되는 여러 과정으로 해석이 가능하다. 본 해석에서는 간단한 ANSYS에서 연성 문제를 해결하는데 있어 매우 효율적인 것으로 알려져 있는 직접법을 이용하였다. 해석에 사용된 요소는 비선형 열-전기 연성 문제에서 온도와 전압의 자유도를 갖는 SOLID98를 사용하였다. 전기적으로 연결된 패드에만 전압이 가해지도록 가정하였으며, 주위온도는 30°C이다. 또한 패드는 기판에 고정되어 있으므로 모든 방향에 대하여 움직일 수 없는 초기 조건으로부터 시작한다. 해석에 필요한 물성치를 정의하기 위하여 탄성계수, 저항률과 열 전도성은 마이크로 단위계로 변환해주어야 한다. 주어진 물성치 조건들을 토대로 해석한 결과는 끝단 변형은 3.046 μm, 최대 발생 응력은 82.1Mpa, 온도는 935.79K, 1차 고유진동수는 35275.87 그리고 2차 고유진동수는 76825.78로 산출되었다. 열구동기의 변형량 예측 시뮬레이션결과를 Fig.2에 나타내었다. 같은 물성치를 사용하여 수치해석적인 연산을 수행하게 되면 3.537 μm라는 값을 얻을 수 있으며, 이는 시뮬레이션 해석결과와 비교하여 약 14%의 오차를 갖는 값이다.

3. 최적설계

모두 다섯가지의 최적화를 수행하였다. 단일목적함수의 최적화의 대상은 구동기 끝단 변형의 최대화이며, 그 구속조건으로 기기에서 발생하는 최대발생응력과 1차, 2차 고유진동수가 쓰인다. 응력은 폴리실리콘의 최대응력인 82.1Mpa, 1차 모드는 35275.87 그리고 2차 모드는 76825.78으로 설정하였다. 단일 목적함수에 대해서는 모두 다섯가지의 구속조건을 설정하여 그 결과값을 확인하여 보았다. 다섯 가지 모두의 목적함수는 구동기의 끝단 변형을 최대화하는 것으로 설정하였으며 제한조건은 최적화되었을 때의 최대발생응력이 허용응력인 82.1Mpa 이하가 되도록 하였다. 1차와 2차 고유진동수만으로 구속조건을 구성하게 될 시에는 총 세 가지의 경우에 대해 액추에이터의 끝단 변형 최대화에 대한 값을 확인하여 볼 수 있다. 마지막으로 구성된 구속조건으로는 최대응력과 1차, 2차 고유진동수를 모두 고려한다. 다목적 최적설계에서는 목적함수는 액추에이터의 끝단 변형의 최대화와 최대발생응력의 최소화로 설정한다. 구속조건으로는 1차와 2차 고유진동수를 35276Hz와 76826Hz 이상으로 구성하였다. 최적화의 결과로서, 초기 모델에서 응력조건만은 구속조건으로 주었을 때, 초기 모델보다 변형량은 증가하게 되나 고유진동수의 값은 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이와 비교할 수 있는 응력과 고유진동수 모두가 구속 조건으로 주어지게 되면 초기 모델과 거의 변화가 없는 최적값이 나오는 것을 확인할 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 마이크로 단위의 열변형 액추에이터의

성능을 높이고자 액추에이터의 목적인 변형량에 초점을 맞추어 최적화를 수행하였다. 최적화에 앞서 진행된 설계변수의 선정 과정과 설계변수들이 출력 값(최대발생응력, 최대발생 온도, 최대 고유 진동수)에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다. 설계변수의 선정은 양쪽의 아암의 온도차이가 크면 변형이 더욱 발생하게 되는 기기의 특성상 온도차이에 기여하게 되는 치수를 변화시키기 위해 변수는 각부의 길이를 설계변수로 선택하였다. 출력 값의 변화양상을 확인해본 결과에서 최대발생온도는 설계변수가 변함에 따라 변화하는 양이 적어 최적화의 대상에서 제외할 수 있었다. 최적화의 결과에서는 구속조건으로 설정한 발생응력이 폴리실리콘의 최대응력의 범위 내에 있기 위해서는 초기 모델에서 큰 변화가 없는 최적화 결과를 나타내었다. 즉, 본 논문에 적용된 마이크로 열변형 구동기의 초기 모델은 연구에서 사용된 구속조건이 기본적으로 적용이 잘 되어져 있는 상태를 의미한다. 특히 초기 모델에서 발생하는 최대응력자체가 폴리실리콘의 최대허용응력에 근접하고 있기 때문이다.

c no ledgments

The present study is supported by iDOT, Engineering Research Center of Innovative Design Optimization Technology designated by KOSEF.

References

1. Q.-A. Huang and N. K. S. Lee, 1999, "Analytical Modelling and Optimization for a Laterally-Driven Polysilicon Thermal Actuator," *Microsystem Technologies*, Vol.5, No.3, pp.133-137.
2. Q.-Q. Huang and N. K. S. Lee, 1999, "Analysis and Design of Polysilicon Thermal Flexure Actuator," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, Vol. 9, No. 1, pp. 64-70.

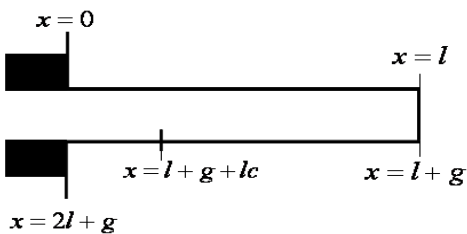
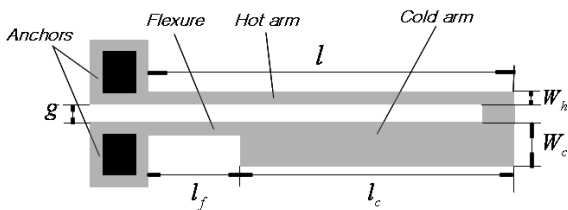


Fig.1: Schematic of thermal flexure actuator

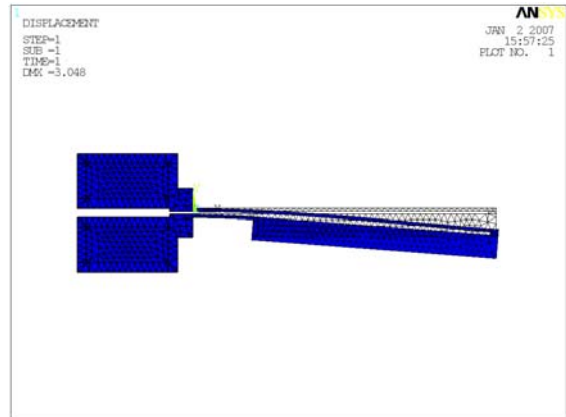


Fig.2: Deflection of thermal flexure actuator

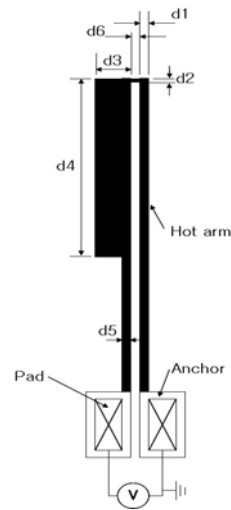


Fig.3: Design variables in micro thermal actuator design